

# T2K実験ニュートリノビームモニター INGRIDにおけるビーム測定結果I

京大理, 東大理<sup>A</sup>, 阪市大理<sup>B</sup>

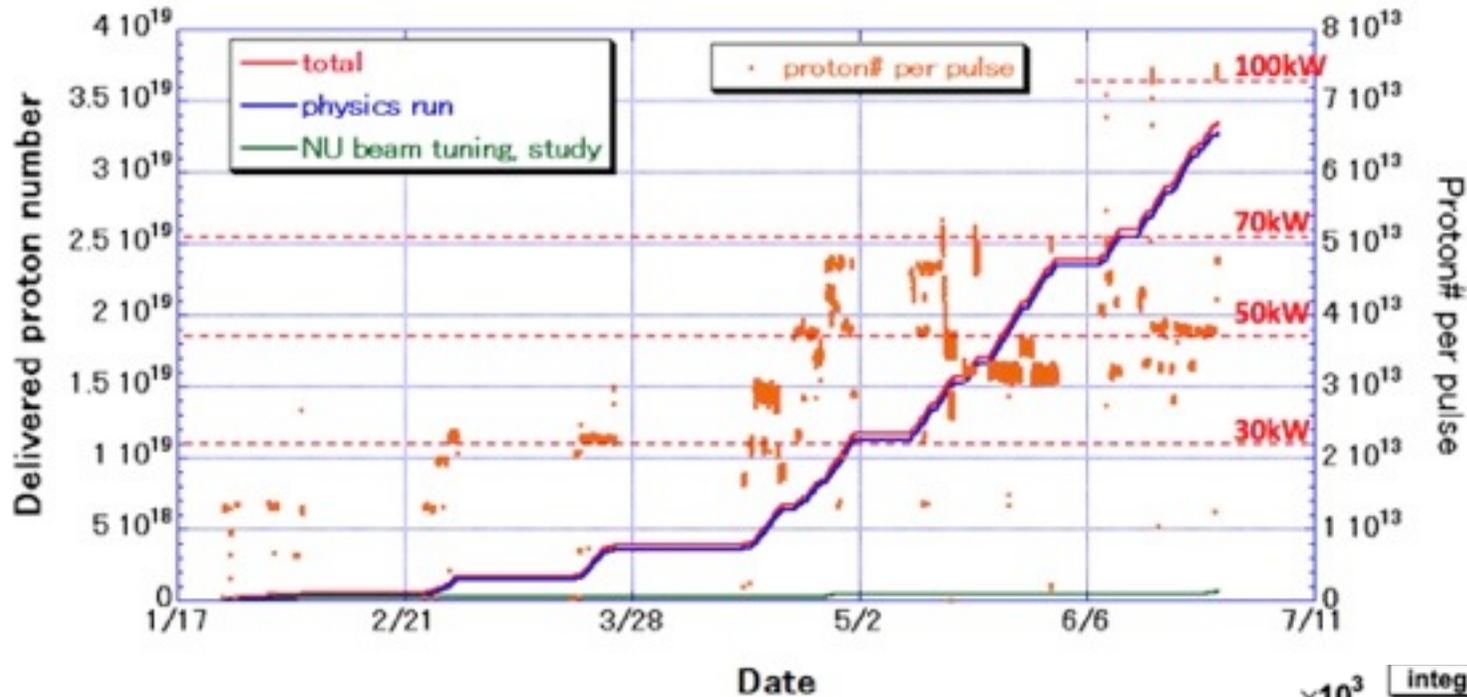
村上明, 大谷将士, 松村知恵<sup>B</sup>, 木河達也, 鈴木研人, 高橋将太,

南野彰宏, 横山将志<sup>A</sup>, 山本和弘<sup>B</sup>, 市川温子, 中家剛

他T2Kコラボレーター

# データ取得

T2K実験：2010年1月より物理ラン開始



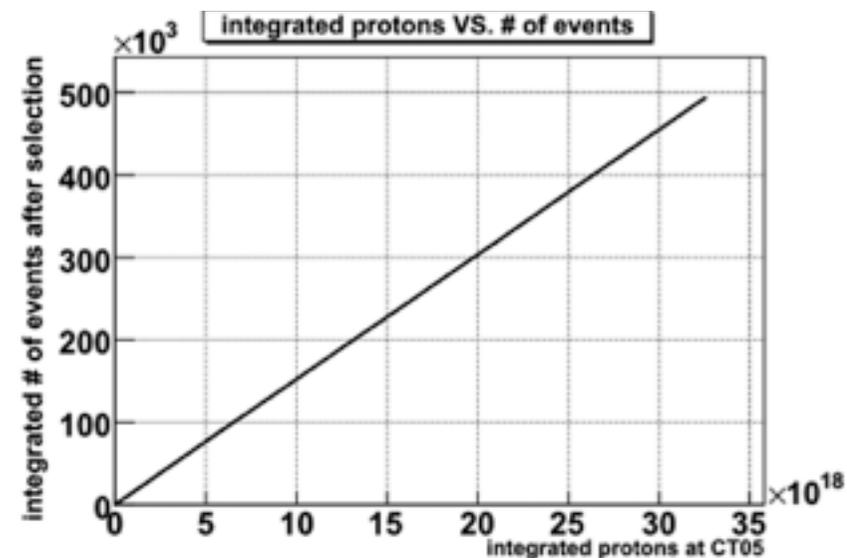
Horn:  
250kA&250kA

Max.intensity:  
100kW

Stable operation:  
< 50kW

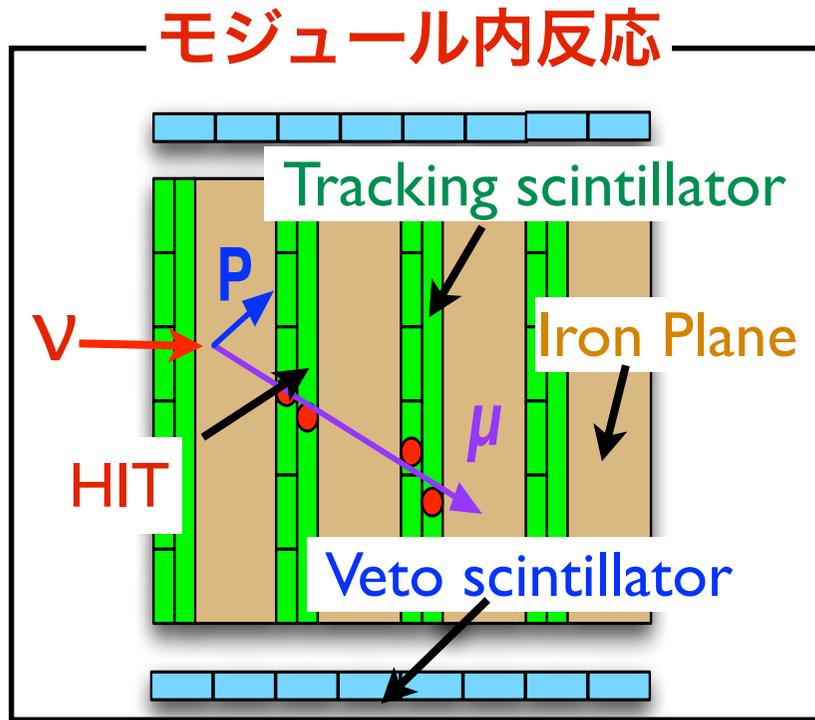
INGRID : 2010年1月より測定開始

- 99.9% data taking efficiency
- Total delivered protons:  $\sim 3.3 \times 10^{19}$
- Neutrino events :  $\sim 5 \times 10^5$

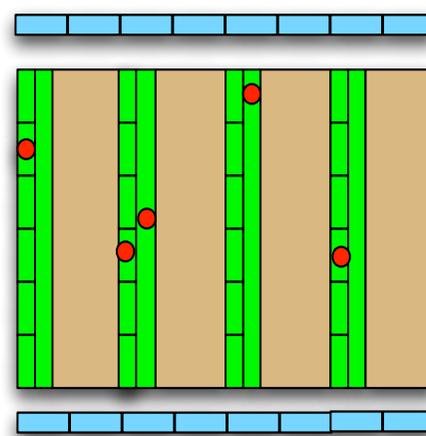


# イントロ

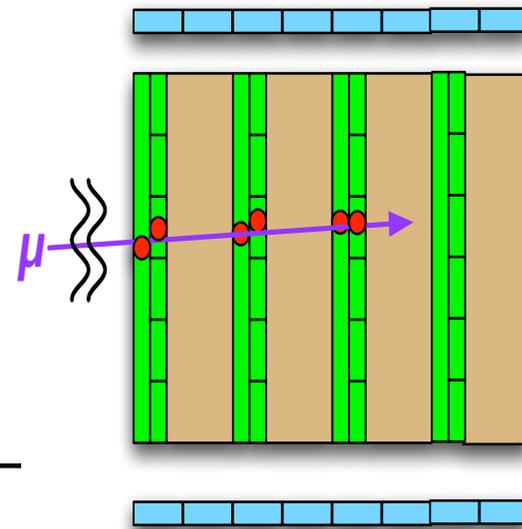
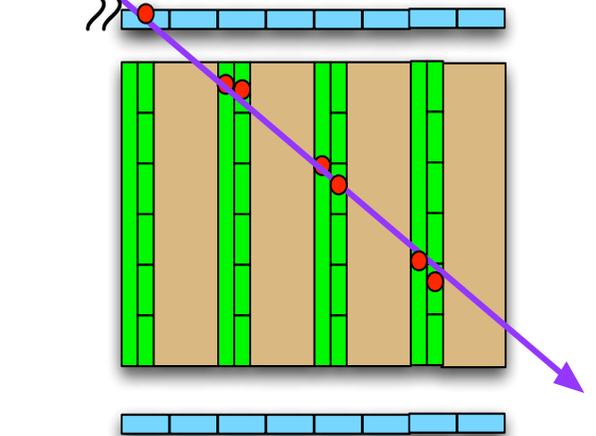
観測イベントがモジュール内でのニュートリノ反応であることの保証



検出器ノイズ



$\mu$  宇宙線



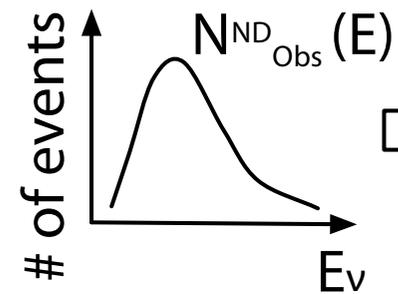
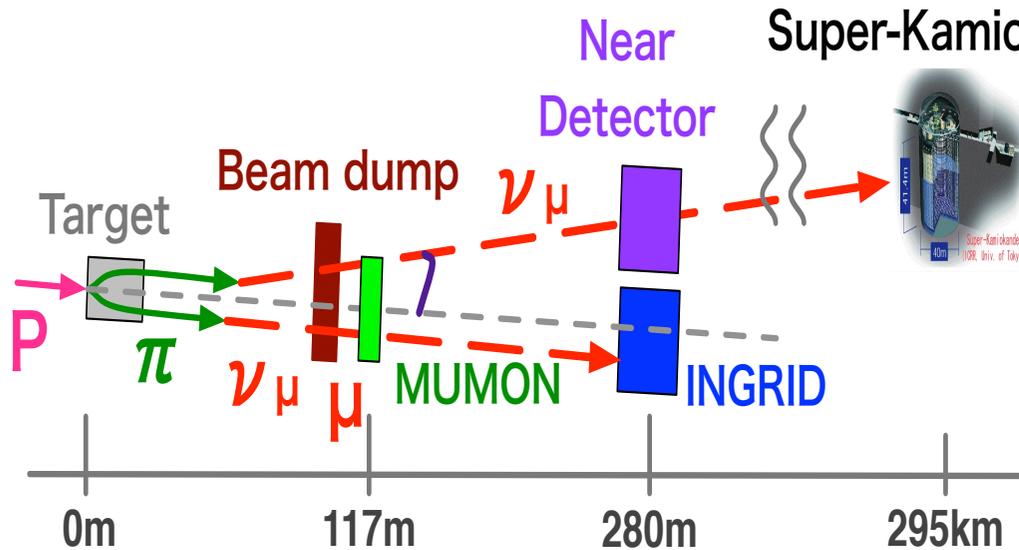
壁でのニュートリノ反応

モジュール内反応とそれ以外では  
イベントの見え方 (突き抜けたプレーン数、再構成した反応点...) が違う

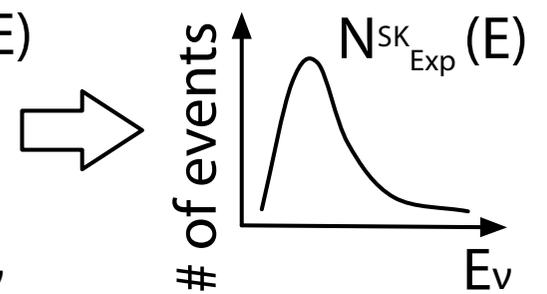
→ シグナルシミュレーションとデータを比較することで検証。

# イントロ

ニュートリノ観測数による予想ニュートリノフラックスへの制限



Near Observation

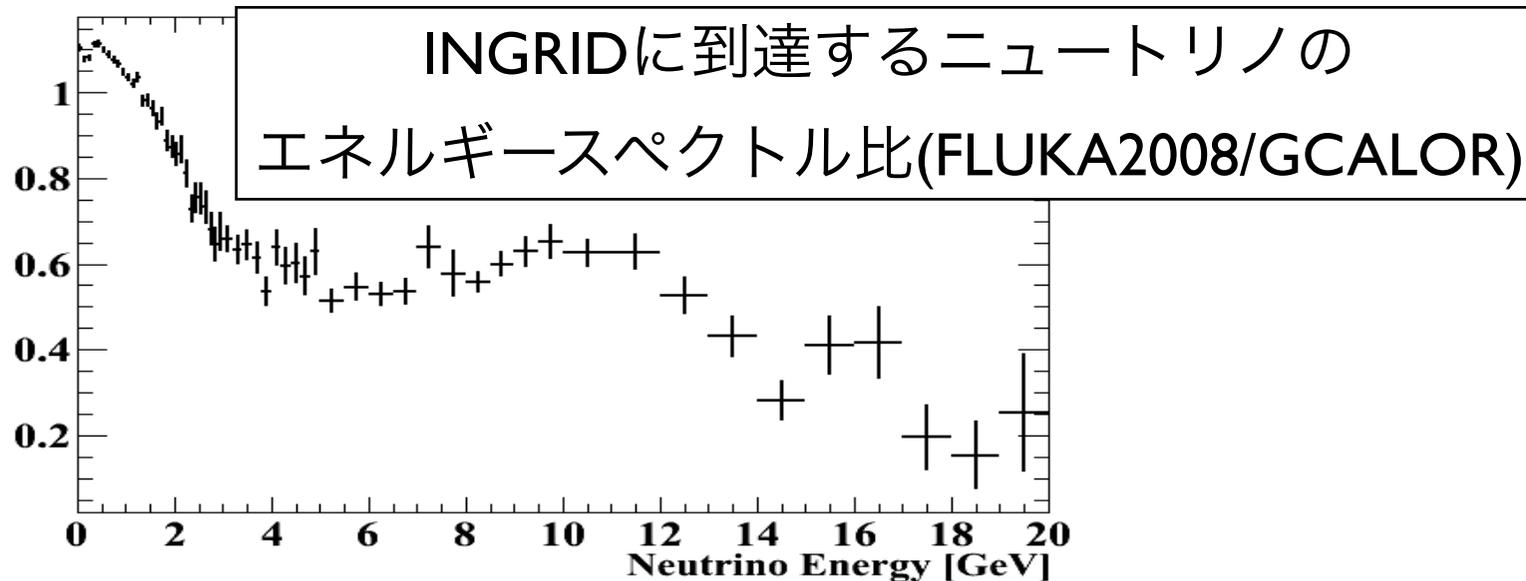


Far Expectation

# フラックスの不定性

- T2K実験 :  $P(30\text{GeV}) + C(\text{Target}) \rightarrow \text{Hadron}(\pi, K, \dots) \rightarrow \nu$
- ハドロン生成モデルにGICALORを使用.
- モデルの不定性は大きく、実験で測定する必要あり (NA61@CERN).
- 別のモデル(FLUKA2008)は実験データを比較的良く再現

FLUKA2008/GICALOR

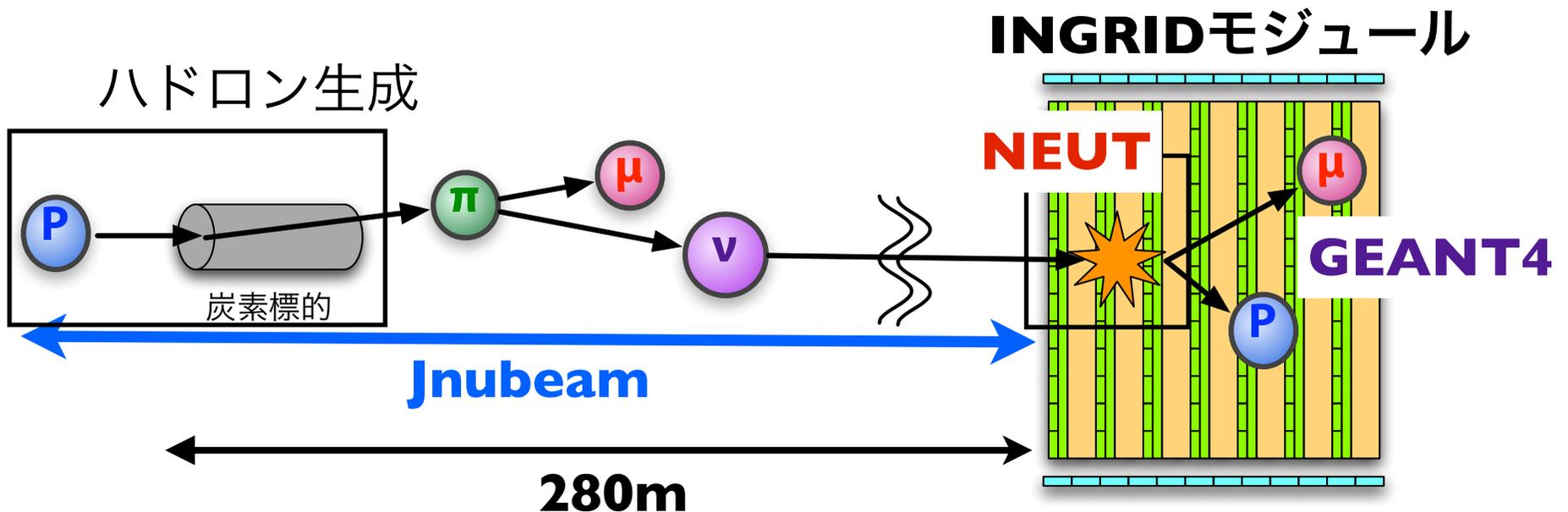


フラックスの不定性に対するINGRIDの測定の制限

→ INGRIDでのニュートリノ観測数への影響を調べる.

# シグナルシミュレーション

- INGRIDでのニュートリノ観測のシミュレーションの構成
  - ニュートリノ生成→INGRID : Jnubeam (GEANT3)
  - INGRIDとニュートリノの反応 : NEUT
  - ニュートリノ反応で生成された粒子の運動 : GEANT4
- モジュール内で起きたニュートリノ反応のみを扱う。
  - 壁でのニュートリノ反応は考慮しない(Study中)



# イベントセレクション

Make timing cluster  
(more than 4 hits within  
100nsec)

# of active planes > 2 &&  
p.e. / active layer > 6.5

Tracking

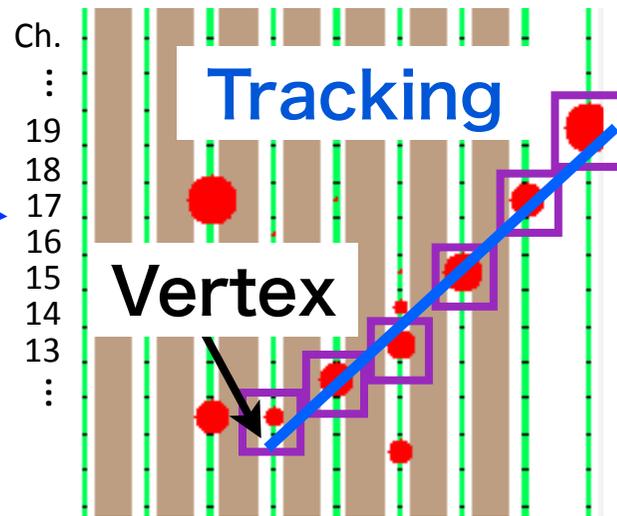
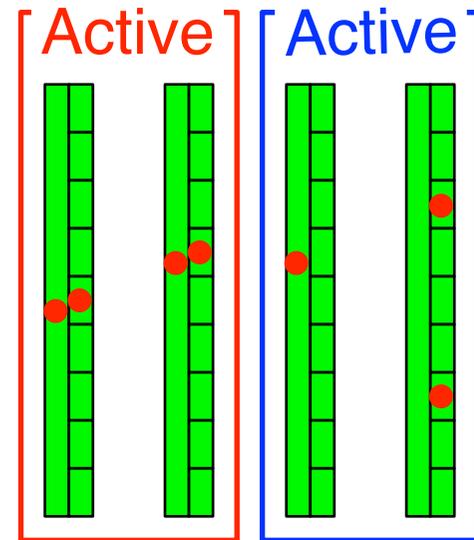
Track matching

On time cut

Upstream VETO cut

Fiducial volume cut

- MPPCノイズを除去
  - 連続3PlaneにHIT
- ➡ Tracking



ビームタイミングと同期した  
イベントのみを選択

# イベントセレクション

Make timing cluster  
(more than 4 hits within  
100nsec)

# of active planes > 2 &&  
p.e. / active layer > 6.5

Tracking

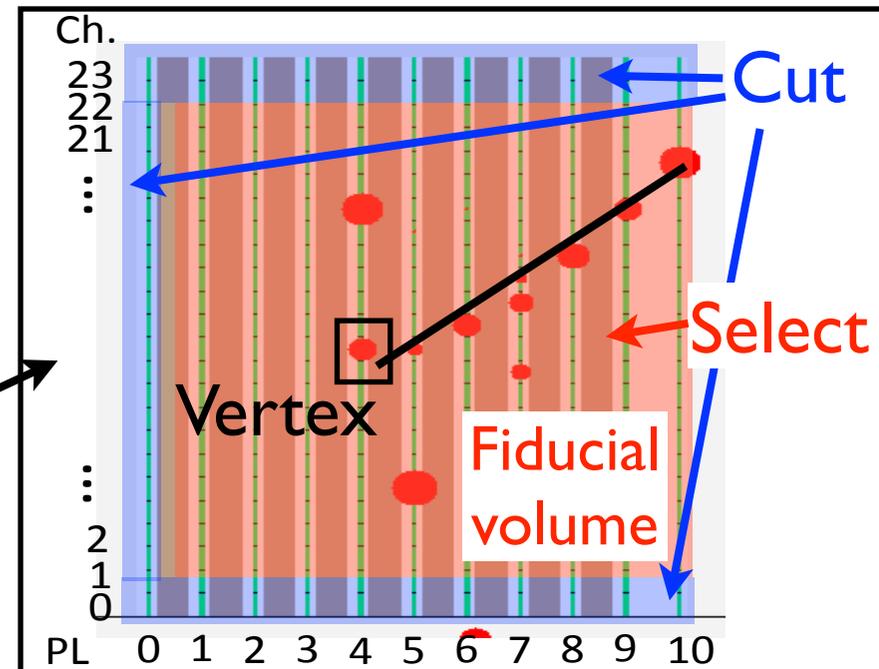
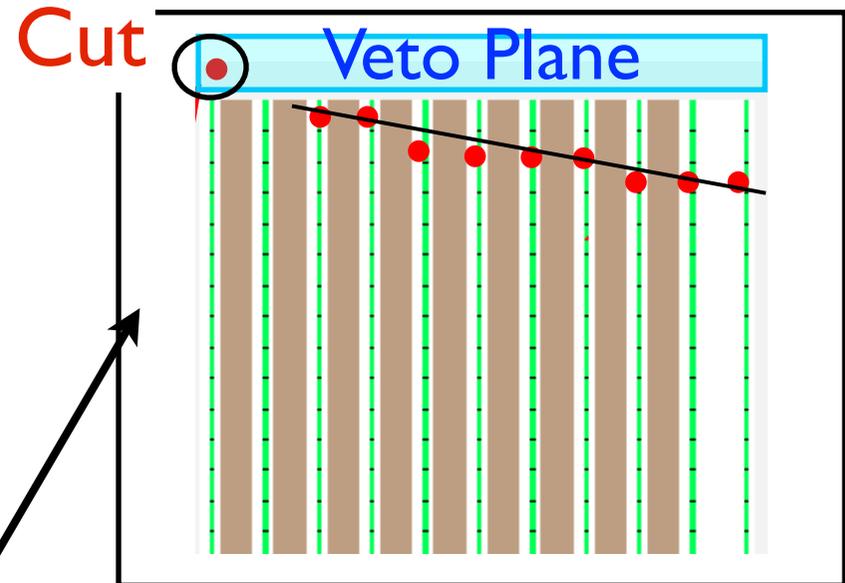
Track matching

On time cut

Upstream VETO cut

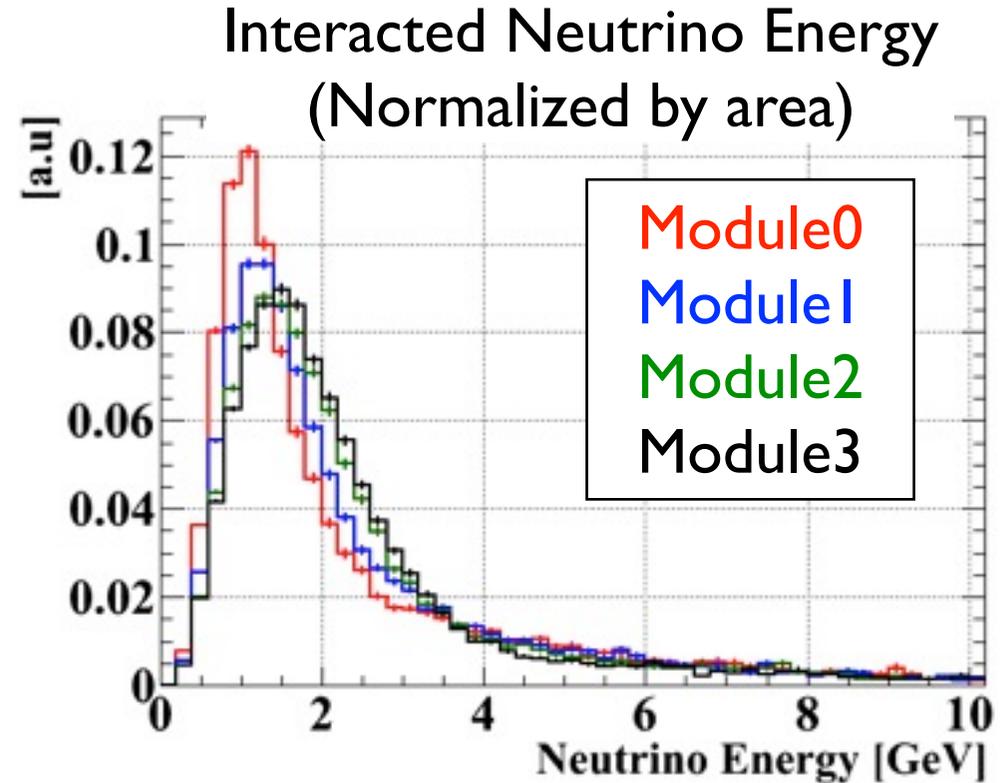
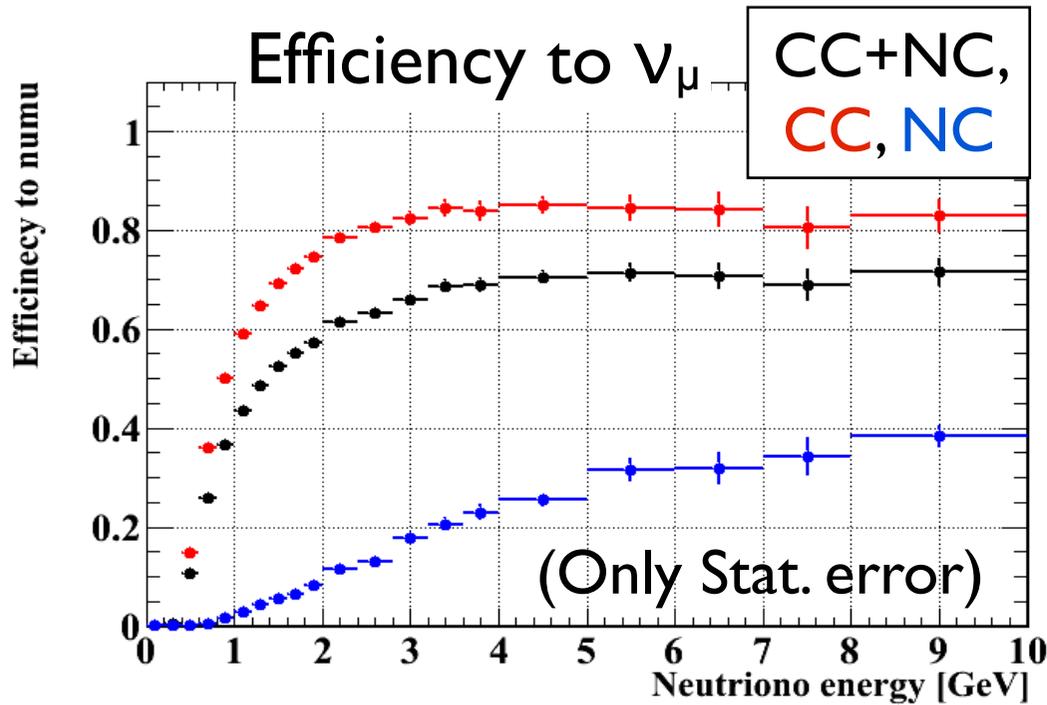
Fiducial volume cut

- 宇宙線・壁からのミュオンを除去



# 検出効率

(# of events after event selection) / (# of interaction in Fiducial volume)



各水平モジュールでの検出効率(スペクトル平均)

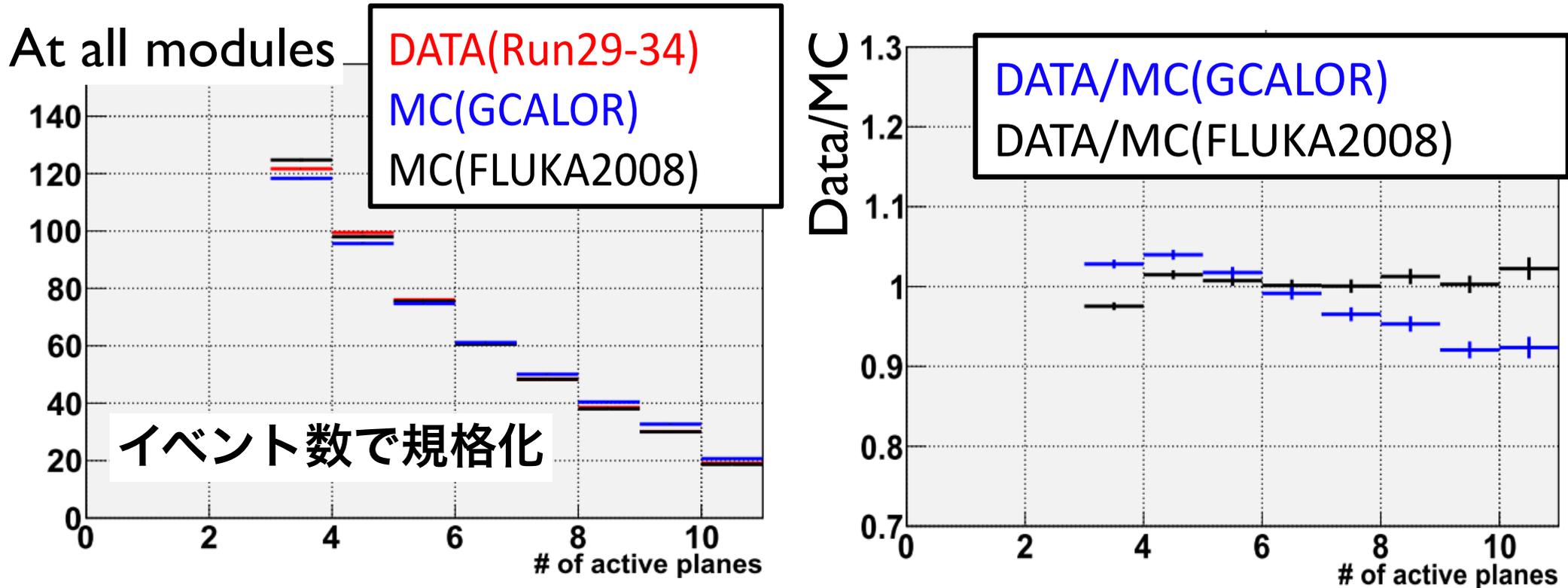
Module#	0	1	2	3	4	5	6
Efficiency [%]	48.3	50.7	52.3	52.2	52.1	50.8	48.0

→ ~50%程度の検出効率が見込まれる。

# データ vs シミュレーション

- イベントセレクション後の各種変数の分布の比較
- データ : 2010年1月~6月の物理データ
- シミュレーション :  $\nu_\mu$  のみ
  - anti- $\nu_\mu$  : 5%.  $\nu_e$  : 1%. anti- $\nu_e$  : 1%以下 (at Flux to INGRID)
  - 2種類のニュートリノの親ハドロン粒子の生成モデルを使用 (GCALOR, FLUKA2008)
- イベント数で規格化
  - 分布の形が両者でどの程度合っているかを検証.

# # of active plane



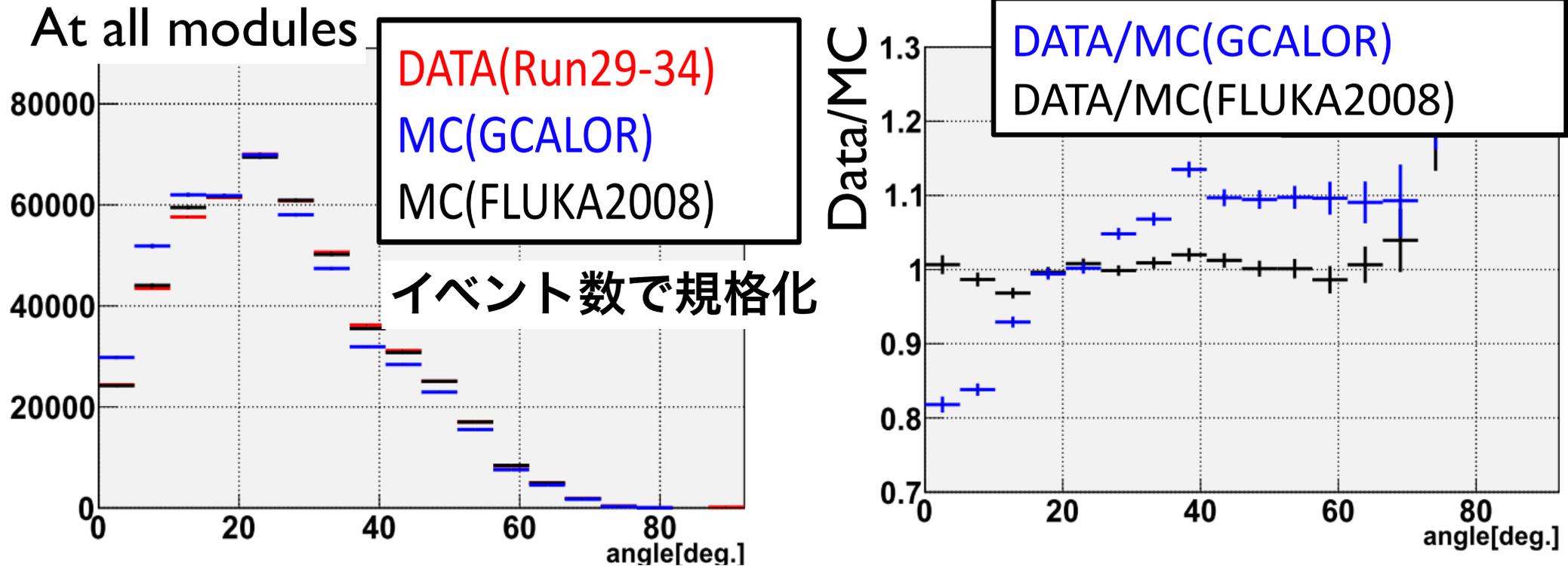
GCALORでは最大~8%の差(at high # of active plane)

→ FLUKA2008では良く (**3%以内**)再現

▶ 高エネルギーのニュートリノの割合の違い

(High energy  $\nu$  → High energy  $\mu$  → Long Track)

# Tracking angle



GCALORでは最大~18%(at Low tracking angle)の差

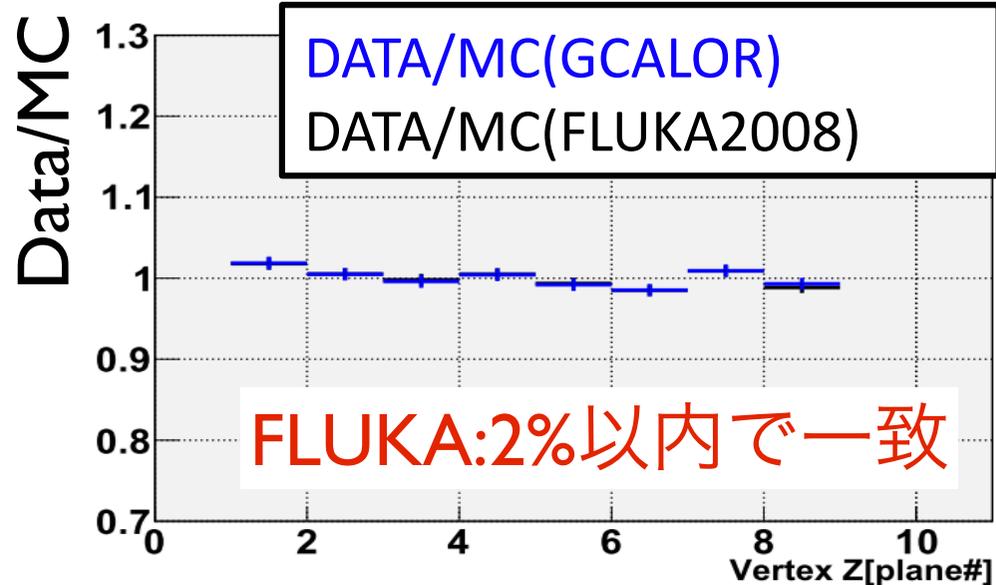
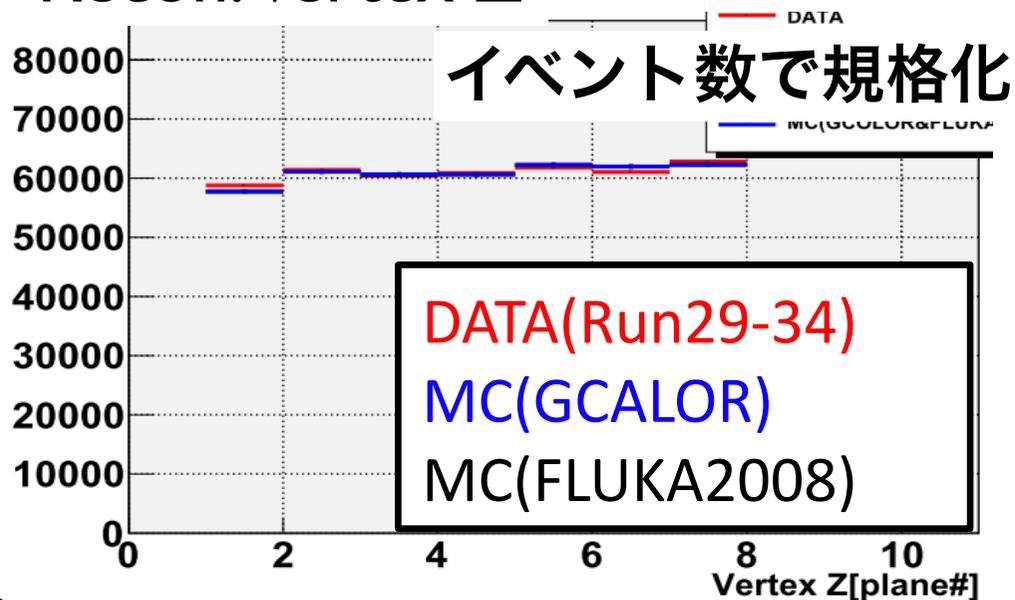
→ FLUKA2008では良く (**3%以内**)再現

▶ 高エネルギーのニュートリノの割合の違い

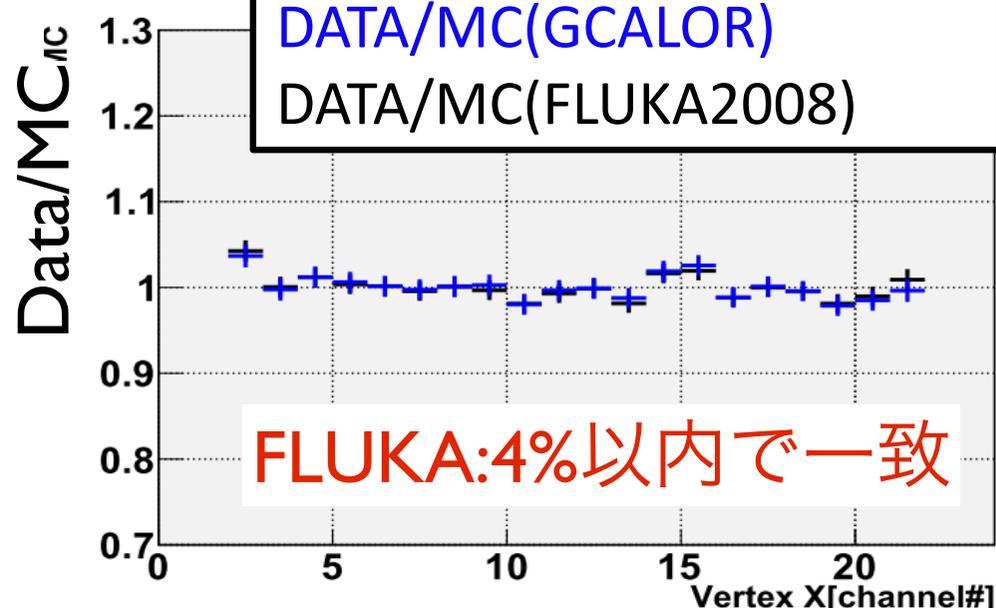
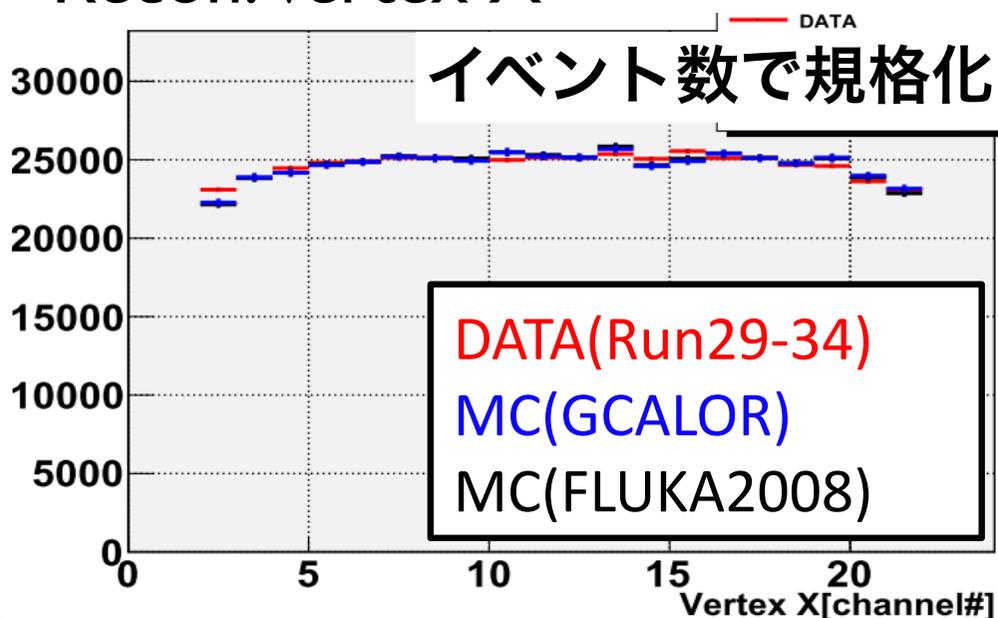
(High energy  $\mu$  → ビーム前方に飛ぶ → Low angle)

# Reconstructed vertex

## Recon. vertex Z



## Recon. vertex X



# 観測数(Nobs)の見積もり

検出器シミュレーション( $\nu_\mu, \text{anti-}\nu_\mu$ のみ)を用いたニュートリノ

観測数(Nobs)の見積もり

	MC(GCALOR)	MC(FLUKA2008)	Data
Nobs[/ $10^{14}$ POT]	<b>1.78</b>	<b>1.41</b>	1.52

→ FLUKA2008/GCALOR ~ **79%**

項目

不定性

検出器に関する系統誤差

数%(次のトーク)

フラックス(FLUKA2008)

~25%

反応断面積の絶対値

~30%

INGRIDでもハドロン生成モデルの違いが大きく見える。

→ ニュートリノ観測数からフラックスにある程度の制限  
が、シミュレーションの不定性が大きい

# まとめ

- INGRIDはニュートリノを直接観測することで、ビーム方向を測定する唯一のニュートリノビームモニターである。
- 2010年からの物理ランにおいて、安定してデータ取得(99.9% data tacking efficiency)を行うことが出来た。
- シミュレーションによるニュートリノイベントの各分布のShapeはデータと3~4%で良く一致しており、データはモジュール内でのニュートリノ反応を観測している。
- バックグラウンドの見積もりも平行して進める。
- INGRIDでのニュートリノ観測数によるニュートリノフラックスへの制限については今後スタディしていく。

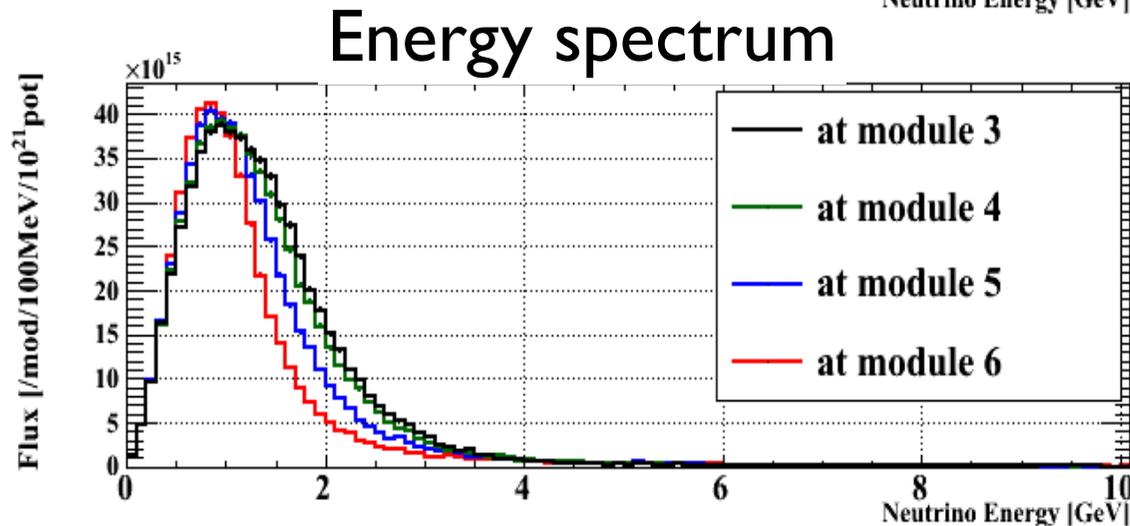
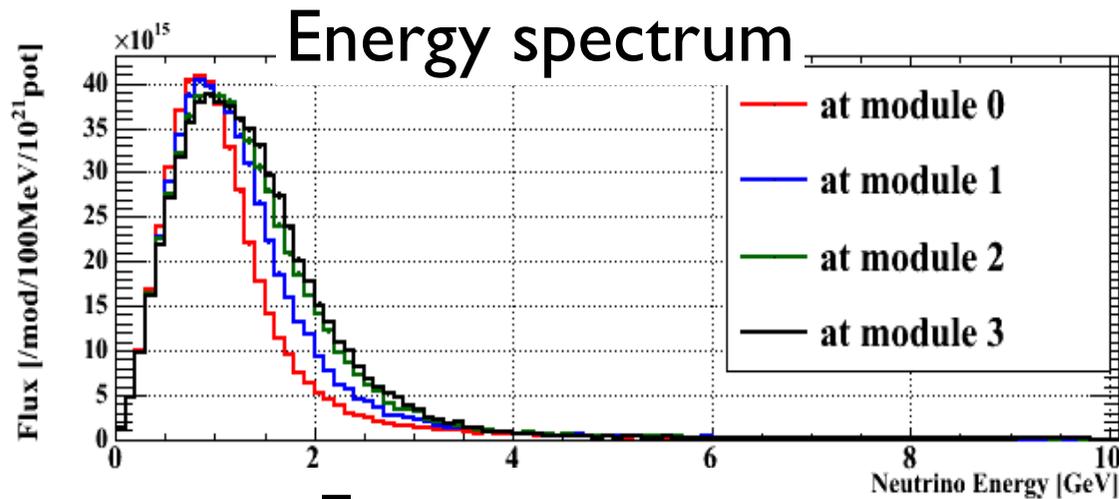
**Back up**

# フラックスで平均した各水平モジュールでの検出効率

Module#	0	1	2	3	4	5	6
Efficiency [%]	48.3	50.7	52.3	52.2	52.1	50.8	48.0

Module#	7	8	9	10	11	12	13
Efficiency [%]	49.4	51.3	52.2	51.4	51.8	50.9	48.4



INGRIDに到達する  
ニュートリノのエネルギー  
ギースペクトル

